

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ И РЕЛЬСОВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ НОВОГО СТАНДАРТА УКРАИНЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ РЕЛЬСЫ**

О.В.Носоченко, С.Н.Танцюра, О.И.Труфанова, А.И.Травинчев,  
Е.В.Гончаренко, А.А.Азаркевич, А.Д.Лебедев, А.Ф.Долгополов  
ОАО "МК "Азовсталь", НИИ "УкрНИИМет", УкрГНТЦ "Энергосталь"

В связи с ростом потребности железных дорог в рельсах из стали повышенной металлургической чистоты, прочности, твердости и износостойкости с 1 октября 2005 г. введен в действие новый стандарт Украины ДСТУ 4344:2004 "Рельсы обычные для железных дорог широкой колеи", предусматривающий изготовление рельсов высшей (В), I, II и III категорий качества с более жесткими требованиями к качеству рельсов.

Это потребовало комплексной оценки уровня существующей технологии выплавки рельсовой стали и термической обработки рельсов с нагрева ТВЧ в условиях ОАО "МК "Азовсталь" по отношению к требованиям новых стандартов и разработки мероприятий по обеспечению требований ДСТУ 4344.

Проведенный в работе [1] анализ качества рельсов показал, что рельсы из мартеновской стали, подвергнутые поверхностной закалке с нагрева ТВЧ, полностью удовлетворяли предъявляемым ранее требованиям ГОСТ 24182 и ТУ У 322-00190319-1122-93 по химическому составу и содержанию неметаллических включений, твердости поверхности катания и твердости по сечению закаленного слоя головки, механическим свойствам и микроструктуре закаленного слоя, а также остаточным напряжениям.

Химический состав рельсов из углеродистой стали по ДСТУ 4344, в основном, соответствует требованиям ГОСТ 24182, предусматривая более высокое содержание марганца (0,80-1,30% по сравнению с 0,75-1,05%), что может обеспечить повышение устойчивости аустенита и уровня прочностных свойств.

В стандарт введено ограничение по длине строчек хрупкоразрушенных сложных окислов (алюминатов, силикатов,

шпинелей) — для рельсов категории В максимальная длина этих строчек составляет 1 мм. Ужесточены и требования по длине строчек глинозема (глинозема, цементированного силикатами) и нитридов титана – максимальная длина для рельсов категории В составляет 1 мм.

Требования по твердости для рельсов категории 1 практически не отличаются от требований ТУ У 322–00190319–1122–93. В то же время требования по твердости рельсов категории В значительно возросли: твердость поверхности должна составлять 374–401 НВ; твердость на глубине 5 мм по оси должна быть не менее 341 НВ (37,5 HRCэ); твердость на глубине 11 мм по оси и на глубине 13 мм на выкружках должна быть не менее 321 НВ (35 HRCэ).

Требования по механическим свойствам для рельсов категории I по сравнению с требованиями ТУ У 322–00190319–1122–93 повысились незначительно – минимальное значение относительного удлинения увеличилось от 6% до 8%, а максимальное значение расхождения паза уменьшилось от 3,5 до 3,0 мм. В то же время существенно возросли требования к рельсам категории В: увеличили минимальные значения временного сопротивления (от 1196 Н/мм<sup>2</sup> до 1290 Н/мм<sup>2</sup>), предела текучести (от 795 Н/мм<sup>2</sup> до 850 Н/мм<sup>2</sup>), относительного удлинения (от 6% до 10%), относительного сужения (от 25% до 30%), а максимальную величину расхождения паза уменьшили от 3,5 мм до 2,5 мм.

ДСТУ 4344 не допускает наличия неразорванной ферритной сетки обезуглероженного слоя на глубине более чем 0,5 мм от поверхности катания и боковых граней головки рельсов высшей категории.

Технология производства рельсовой стали в условиях ОАО “МК “Азовсталь” предусматривает выплавку стали скрап-рудным процессом в одножелобных качающихся мартеновских печах. Предварительное раскисление стали в печи производят силикомарганцем, ферромарганцем или ферросилицием. Сталь выпускают в 2 ковша вместимостью ~ 220 т. Окончательное раскисление и модифицирование стали производят в ковше силикомарганцем или ферромарганцем, кремний-магний-кальций-титановой лигатурой, ферросилицием и ферротитаном. Сталь в ковше обрабатывают твердой шлакообразующей смесью и аргоном. Утепление поверхности металла в ковше производят теплоизолирующей смесью.

Мировая практика производства качественных сталей с особыми требованиями, в том числе рельсовых, предусматривает в основном, выплавку их в электропечах, конвертерах и мартеновских печах, доводку и раскисление стали на установках "печь-ковш" (УПК), вакуумирование металла, "мягкую" продувку аргоном, окончательное раскисление стали и модифицирование кальцием.

В настоящее время особую актуальность приобрела проблема повышения чистоты рельсовой стали по неметаллическим включениям. Прежде всего это касается хрупкоразрушенных сложных окислов, присутствующих в рельсах в виде строчек с острыми фронтальными краями, которые могут служить концентраторами напряжений.

Существует определенный опыт снижения загрязненности рельсовой стали неметаллическими включениями.

Так, проведенные опыты по внепечной обработке рельсовой стали (вакуумирование, продувка аргоном и азотом, обработка синтетическими шлаками) показали, что наиболее эффективными ее вариантами являются вакуумирование и продувка аргоном [2, 3].

В работе [4] отмечается улучшение качества поверхности рельсов и увеличение выхода их первого сорта, уменьшение загрязненности неметаллическими включениями при раскислении стали комплексными ферросплавами, содержащими кальций (кремниймагнийтитановой и кремнийкальцийванадиевой лигатурами и силикокальцием,) по сравнению с раскислением алюминием и ферросилицием.

Кальций используют, как правило, в виде его сплавов с кремнием и другими элементами. Использование металлического кальция при производстве стали не практикуется из-за высокой стоимости, гигроскопичности и пирофорности.

Характерно, что при расходе лигатур, обеспечивающем ввод кальция в количестве 400–750 г/т стали, проявляется его избыток. Объясняется это тем, что по данным [5] растворимость кальция в жидком железе при температуре 1600°C и парциальном давлении  $P_{Ca} = 1$  ат составляет 0,032%, тогда как для связывания всего находящегося в рельсовой стали кислорода (0,006–0,008%) необходимо ввести 0,02 % Ca.

Отмечается, что в стали, раскисленной с использованием кальция, уменьшается количество строчек оксидных включений [6].

В жидкой стали кальций находится лишь в газообразном состоянии вследствие низких температур его плавления ( $849^{\circ}\text{C}$ ) и кипения ( $1487^{\circ}\text{C}$ ), что обуславливает весьма низкую растворимость его в стали [7, 8].

Адсорбция растворенного кальция на поверхности ранее образовавшихся включений обеспечивает протекание реакций раскисления в кристаллизующемся металле, вследствие чего эти включения укрупняются, принимают форму глобул и легче всплывают, что способствует уменьшению количества строчек оксидных включений [6, 8].

Анализ качества рельсов текущего производства показал, что по загрязненности нитридами титана, глинозема и глинозема, цементированного силикатами, рельсовая сталь полностью удовлетворяет требованиям высшей категории (длина строчек  $\leq 1,0$  мм), а по загрязненности хрупкоразрушенными сложными окислами (длина строчек  $\leq 1,0$  мм) требованиям для высшей категории качества удовлетворяет только 25 % плавок, а 8 % плавок не удовлетворяет и требованиям для категории I (длина строчек  $\leq 4,0$  мм).

С целью удовлетворения требований по загрязненности неметаллическими включениями разработана и опробована технология раскисления и модифицирования рельсовой стали, предусматривающая предварительное раскисление стали в печи силикомарганцем и окончательное раскисление в ковше силикомарганцем, ферротитаном, кремний-магний-кальций-титановой лигатурой и силикокальцием, что гарантирует получение рельсов I категории и может обеспечить получение рельсов высшей категории.

Технология закалки рельсов в рельсозакалочной машине (РЗМ) рельсобалочного цеха включает нагрев ТВЧ головки рельсов в трех секциях индукторов до температуры закалки, регулируемое первичное охлаждение поверхности катания головки последовательно под шестью коллекторами первичного охлаждения, последующий разогрев охлажденного поверхностного слоя головки за счет тепла внутренних слоев (самоотпуск) и окончательное вторичное охлаждение последовательно двумя коллекторами.

Для повышения твердости боковых граней и эксплуатационной стойкости рельсов разработали и внедрили технологию, предусматривающую дополнительное охлаждение боковых граней головки водовоздушной смесью или сжатым

воздухом. В связи с более интенсивным охлаждением головки и уменьшением ее теплосодержания в процессе самоотпуска, что может привести к получению повышенной твердости, предусмотрели возможность проведения дополнительного печного отпуска таких рельсов.

Анализ качества рельсов, подвергнутых закалке с нагрева ТВЧ за период с января 2004 г. по июль 2005 г. провели по таким параметрам как твердость по поверхности катания и по сечению закаленного слоя, механические свойства закаленного слоя и внутренние напряжения (расхождение паза).

Температура нагрева рельсов под закалку изменялась в пределах 920–960<sup>0</sup>С вне зависимости от содержания углерода, при этом рельсы от более чем 90 % плавов нагревались в достаточно узком интервале температур — 930–950<sup>0</sup>С. Температура самоотпуска изменялась в пределах 425–475<sup>0</sup>С, при этом для плавов с содержанием углерода 0,73–0,76% температура самоотпуска находилась в пределах 425–470<sup>0</sup>С, а при содержании углерода 0,77–0,79% — в пределах 440–475<sup>0</sup>С. Необходимо отметить, что для плавов с одинаковым содержанием углерода температура самоотпуска изменялась в тех же пределах.

Несмотря на повышение температуры самоотпуска для плавов с большим содержанием углерода только 7% плавов с содержанием углерода в пределах 0,73–0,74% и 50% плавов с содержанием углерода 0,75–0,79 % имели временное сопротивление не менее 1290 Н/мм<sup>2</sup>, а доля плавов с низкими значениями относительного удлинения (<10%), относительного сужения (< 30%) и ударной вязкости (< 30 Дж/см<sup>2</sup>) составила 18 % и 33 % для плавов с содержанием углерода соответственно 0,73–0,76 % и 0,77–0,79 %.

Анализ распределения сдаточных плавов по содержанию углерода и твердости поверхности показал, что для большей части плавов (59 %) минимальное значение твердости поверхности катания 341 НВ получено независимо от содержания углерода и температуры самоотпуска, и это свидетельствует о наличии на поверхности обезуглероженного слоя, толщина которого превышает допустимую глубину зачистки при измерении твердости.

Измерение глубины обезуглероженного слоя было проведено для рельсов от 62 плавов, при этом на рельсах от 7 плавов (11 %) был обнаружен обезуглероженный слой глубиной 0,55–0,70 мм.

Сравнение свойств рельсов, произведенных в 2004–2005 г.г., с требованиями ДСТУ 4344 (таблица) показывает, что их качество не в полной мере отвечает требованиям для категории 1 и полностью не удовлетворяет требованиям для высшей категории.

Низкие значения твердости на глубине до 5 мм и временного сопротивления для рельсов из стали с содержанием марганца в существующих пределах (0,80–1,05%) связаны с недостаточной скоростью первичного охлаждения, что требует совершенствования схемы охлаждения.

Для гарантированного обеспечения твердости поверхности катания в требуемых пределах и предотвращения образования участков бейнита и отпущенного мартенсита необходимо более точное определение значений параметров регулирования первичного охлаждения (расходов воды по коллекторам и температуры самоотпуска) за счет применения более точных приборов и определения распределения температур по сечению в процессе первичного охлаждения и самоотпуска.

Для обеспечения требований нового стандарта предполагается реализовать дополнительные мероприятия, включающие:

- использование для изготовления рельсов низколегированных и микролегированных сталей;
- совершенствование технологии прокатки за счет оптимизации технологии нагрева заготовок для уменьшения глубины обезуглероженного слоя;
- оснащение РЗМ современной аппаратурой для повышения точности и достоверности измерения температуры рельса в процессе термообработки и расхода охладителя;
- увеличение длительности самоотпуска за счет отключения на всех ручьях РЗМ последних коллекторов первичного охлаждения и смещения коллекторов вторичного охлаждения;
- применение печного отпуска для обеспечения требований по относительному удлинению и сужению, а также по внутренним напряжениям для рельсов с повышенными прочностными свойствами и, прежде всего, из низколегированных сталей.

Таблица

## Соответствие качества рельсов производства 2004–2005 г.г. требованиям НТД

Параметр качества	К-во плавок	Количество (n) и доля (%) плавок, удовлетворяющих требованиям								
		ТУ У 322-00190319-1122-93 *			ДСТУ 4344					
					Категория 1			Категория В		
		Пред. знач.	(n)	(%)	Пред. знач.	(n)	(%)	Пред. Знач.	(n)	(%)
Твёрдость поверхности катания головки, НВ	66	341-388	66	100	341-388	66	100	374-401	2	3
Твёрдость головки на глубине 5 мм, HRCэ	75	-	-	-	≥ 34,0	74	98,7	≥ 37,5	55	73,3
Твёрдость головки на глубине 11 мм, HRCэ	67	≥ 33,5	67	100	≥ 33,0	67	100	≥ 35,0	64	95,5
Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	82	≥ 795	82	100	≥ 800	82	100	≥ 850	76	92,7
Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	82	≥ 1196	81	98,8	≥ 1196	81	98,8	≥ 1290	34	41,5
Относительное удлинение, %	82	≥ 6	82	100	≥ 8	82	100	≥ 10	67	81,7
Относительное сужение, %	82	≥ 25	82	100	≥ 25	82	100	≥ 30	66	80,5
Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	79	≥ 25	76	96,2	≥ 25	76	96,2	≥ 15	79	100
Расхождение паза, мм	81	≤ 3,5	81	100	≤ 3,0	78	96,3	≤ 2,5	53	65,4
<b>По всей совокупности параметров</b>				<b>95,1</b>			<b>91,5</b>			<b>0</b>
* - первый класс										

## Литература

1. Исследование служебных свойств опытной партии рельсов с закаленными боковыми гранями головки и освоение промышленной технологии производства, в том числе и правки таких рельсов: Отчет о НИР (заключит.) / УкрНИИМет; Руководитель А.Д.Лебедев – 2/20; - Харьков- Мариуполь, 2004.- 65с.
2. Улучшение физико-механических и служебных свойств железнодорожных рельсов путем внепечной обработки: Отчет по НИР / УкрНИИМет; - 532-73; - Харьков, 1976-132 с.
3. Исследование и разработка коренного способа улучшения качества рельсовой стали путем внепечного рафинирования / Ивашина Е.Н. и др. // В сб. "Производство железнодорожных рельсов и колес". - Харьков, 1977, с.16-19.
4. Исследование и отработка основных параметров производства рельсов из стали, подвергнутой внепечному рафинированию: Отчет по НИР / УкрНИИМет; - 835-77;.- Харьков, 1979,74 с.
5. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. "Металлургиздат" М., 1973, 311с.
6. Влияние раскисления силикокальцием на свойства хромоникель-молибденовой стали // Вербольская В.Д. и др. - "Сталь", 1959, №10, с. 938.
7. Баптизманский В.И. и др. Раскисление и легирование стали экзотермическими ферросплавами // "Техника", 1970, 180 с.
8. Прокопенко К.К Рафинирование стали. - К.: "Техника", 1975, 192 с.